

Titel

Automatisierte Systemintegration von Formgedächtnisaktoren im Spritzgussprozess

IGF-Nr.: 19075 N

Forschungseinrichtungen

Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe (IFW),

Papenberger Str. 49,

42859 Remscheid

Ansprechpartner:

M. Sc. Yannic Zwinscher

02191 / 5921-153

zwinscher@fgw.de

Danksagungen

Das IGF-Vorhaben 19075 N der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. – FGW, Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Ausgangssituation

Formgedächtnislegierungen sind intelligente Werkstoffe, die durch thermische Aktivierung eine Phasenumwandlung von einer weichen Phase (Martensit) zu einer harten Phase (Austenit) durchführen. Durch diese Eigenschaft können mechanisch eingebrachte, scheinbar plastische Deformationen von bis zu 8 % der Zuglänge reversibel in den Ausgangszustand versetzt werden. Dieser pseudoplastische Effekt kann für Aktoren genutzt werden.

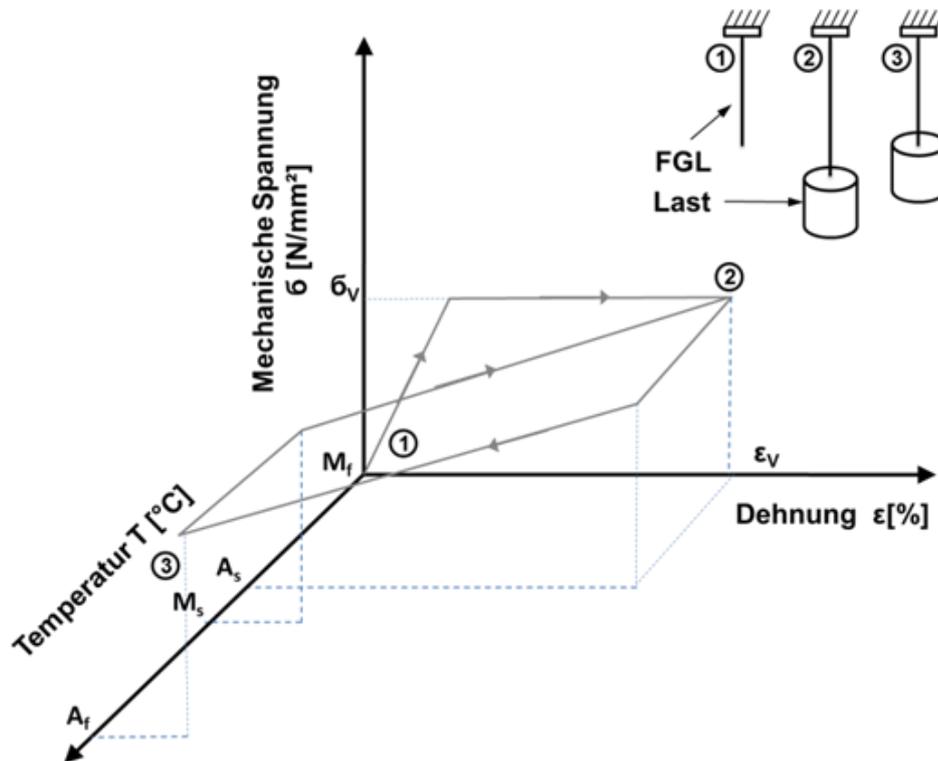


Abbildung 1: Prinzipielle Darstellung des extrinsischen Zweiwegeeffekts eines FG-Aktors [1]

Die in den letzten Jahren vorgestellten Konzepte für Formgedächtnisaktoren (FG-Aktoren) zeigten technisch ambitionierte und verifizierte Konzeptideen für Formgedächtnisaktoren [2]. Diese Funktionsmuster sollten die grundsätzliche Machbarkeit aufzeigen und waren daher von produktionstechnischer Seite nicht durchdacht, weswegen der Bedarf an einfachen und reproduzierbaren Produktionsprozessen vorhanden war. Trotz technischer Spitzenentwicklung konnten diese Systeme nicht als ökonomisch wettbewerbsfähige Systeme realisiert werden. Dies lag nicht nur an dem aus KMU-Sicht unkonventionellem Formgedächtniswerkstoff, sondern auch daran, dass die Kosten für die Produktionsprozesse nur schwer eingeschätzt werden konnten. Der Grund hierfür war, dass optimale Befähiger für die einzelnen Prozessschritte in der Herstellung von Formgedächtnisaktorsystemen bislang nie methodisch erfasst und bewertet wurden und keine ökonomischen Kalkulationsgrundlagen für Produktionsprozesse vorhanden waren.

Unternehmen waren daher gezwungen, nach erfolgreicher Entwicklung eines Demonstrators auf FG-Aktorbasis hohe Produktionskosten anzusetzen, um das wirtschaftliche Risiko zu erfassen. Zusätzlich zu dieser durch Unsicherheit getriebenen Haltung hatten die Unternehmer weiterhin Bedenken, die Technologie aus technischer und ökonomischer Sicht einzuschätzen. Ursache hierfür war das Fehlen von Produktionsstandards und Richtlinien für Formgedächtnisaktorsysteme. Der VDI resümierte hier bezüglich der KMU und Formgedächtnistechnik: „Die Unternehmer unternehmen zu wenig“ [3]. Will man einen kostengünstigen Low-Cost Aktor auf Basis von FGL in Massenmärkten etablieren, so muss dies durch ein hochintegriertes, einfaches und kostengünstig herstellbares System geschehen. Daraus ergab sich die Forderung nach einem Herstellungsprozess, der es erlaubte, FG-Aktoren direkt im Spritzgussprozess mit funktionalen Strukturen auf Polymerbasis zu verbinden und einen vollintegrierten Aktor in einem Prozessschritt herzustellen.

Aus dieser Forderung ergaben sich allerdings Fragen, die nach heutigem Stand der Technik noch nicht beantwortet werden konnten. Grundsätzlich ist kein Prozessablauf in der wissenschaftlichen Welt diskutiert worden, der eine Integration von Formgedächtnis-Drahtaktoren in reproduzierbarer und automatisierter Weise in Polymerkomponenten ermöglichte. Der zu betrachtende Prozess, bestehend aus dem Einlegen des FGL in die Spritzgussform, dem Spritzgießen, Kontaktieren, Trennen und Auswerfen, war bislang im Zusammenspiel mit Formgedächtnisaktoren nicht entwickelt und qualifiziert worden. Ebenso wenig wurden die zulässigen Kombinationen verschiedener Werkstoffe (FGL und Polymeren) weder wissenschaftlich noch in der industriellen Anwendung erprobt. Dies lag unter anderem an der Komplexität der Aufgabe. Formgedächtnisaktoren reagieren auf Temperaturgradienten, die im Spritzgussprozess auftreten, in mechanischer Weise. Folglich mussten neben einem Konzeptentwurf und der Untersuchung möglicher konstruktiver Parameter auch eine Untersuchung der Prozessbedingungen erfolgen. Diese Untersuchungen fokussierten Temperaturverläufe und Ausprägungen während des Spritzgießens, die Ausgestaltung der Werkzeuge und weiterer Befähiger im Bereich Handling und Konfektionierung.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Aktoren basierend auf Formgedächtnislegierungen gegenüber anderen Aktorprinzipien einige Vorteile wie eine hohe Energiedichte, eine geräuschlose Arbeitsweise sowie eine Unempfindlichkeit gegen Magnetfelder und Chemikalien bieten, der Einsatz dieser Technologie jedoch häufig durch folgende Umstände gebremst wurde:

- Es gab nahezu keine Standards zu der komplizierten Auslegung, Konstruktion und Prüfung solcher Aktoren.
- Es fehlte eine Produktionsmethodik, welche mit der späteren Formgedächtnisanwendung vereinbar ist.
- Es lagen den Entwicklern solcher Antriebssysteme kaum Daten zum Handling und zur Systemintegration der Formgedächtnismaterialien vor.

Diese Unsicherheiten erschwerten potentiellen Nutzern den Einstieg in die Entwicklung mit Formgedächtnismaterialien.

Forschungsziel

Ziel des Vorhabens war es, eine Technologie zu etablieren, mit deren Hilfe kostengünstige Aktoren für die Automobilindustrie, Gebäudetechnik, Industrietechnik und Optik als einfache Funktionseinheit aufgebaut werden können. Durch die Integration von Funktionen in Kunststoffelemente wurden so anspruchsvolle FG-Aktorsysteme entwickelt, welche einfach und kostengünstig ohne zusätzliche Montage im Insert-Spritzgussprozess herstellbar sind. Voruntersuchungen der Ruhr-Universität Bochum zeigten bereits, dass eine grundlegende Integration von funktionalen Elementen auf Polymerbasis mehrere Aufgaben in einem FG-Aktorsystem übernehmen kann.

Durch die Betrachtung und systematische Entwicklung einer neuen innovativen Produktionstechnologie sollten die erreichten Ergebnisse dieses Projekts als Hilfestellung bei der Auslegung, Konstruktion und Produktion von kostengünstigen Formgedächtnisaktoren für den Massenmarkt dienen. Die Unternehmen der aufgezählten Branchen erhalten technisch überlegene, dennoch durch einfache Massenproduktion in Deutschland günstig herzustellende elektrische und thermische Aktoren, die aus dem Verbund der Formgedächtnislegierung mit Kunststoff bestehen. Das im Vorhaben erzeugte Wissen über die einzusetzende Formgedächtnistechnik kann branchenübergreifend eingesetzt und genutzt werden und wird vorwettbewerblich zur Verfügung gestellt.

Vorgehensweise und Forschungsergebnisse

Um die Technologie bewerten zu können, mussten alle Punkte aus der folgenden Grafik betrachtet werden, welche somit gleichzeitig die angestrebten Ergebnisse darstellten.

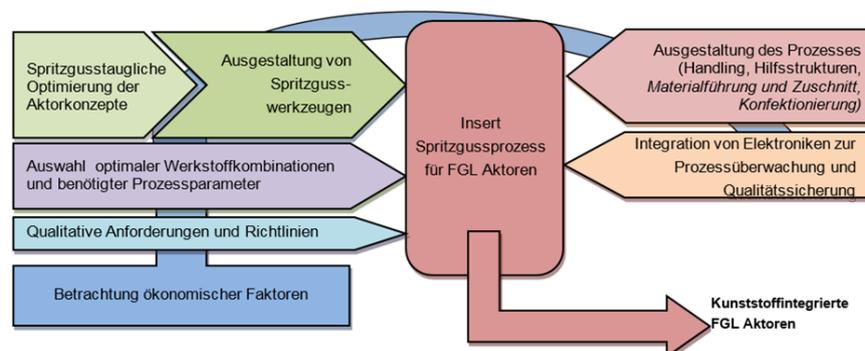


Abbildung 2: Angestrebte Forschungsergebnisse zur Umsetzung eines Insert-Spritzgussprozesses zur Herstellung von FGL-Aktoren im Kunststoffverbund

Die Arbeiten bis zum ersten Meilenstein beinhalteten die systematische Aufnahme bestehender Prozessparameter im Insert-Spritzgussprozess und dessen Anpassung an die Parameter der Formgedächtnistechnik. So sind Prozessparameter, thermische Einflüsse auf das FG-Material sowie die konstruktive Ausgestaltung der Werkzeuge untersucht worden. Durch experimentelle Untersuchungen an einem hierfür aufgebauten Versuchsstand wurde mittels Temperatursensoren der Einfluss des Wärmeeintrags auf den FG-Draht aufgenommen.

Der zweite Meilenstein schloss die Entwicklung der automatisierten Prozesskette zum Handling, Zuschnitt und zur Spritzgussintegration von FG-Drähten im Insert-Prozess ab. Im Vordergrund dieses zweiten Projektteils stand die Überprüfung verschiedener Befähiger zur Realisierung des Gesamtprozesses. Faktoren wie Prozessregelung, Minimierung der Einflüsse auf das FG-Element und der automatisierte Einlege- und Auswurfvorgang wurden bis zum zweiten Meilenstein ebenfalls ausgestaltet. Auch der Aufbau einer Wissensbasis sowie eines methodischen Baukastens zum Wissenstransfer an die KMU wurde begonnen und bildete das Basisgerüst für die nachfolgende Prozessbewertung. Die Anpassung und Validierung der Erkenntnisse wurde im letzten Projektdrittel durchgeführt und hinsichtlich der verwendeten Hilfsmittel (Konstruktion, Werkstoffe, Teilprozesse) optimiert.

Die folgende Übersicht beschreibt die während des Vorhabens erreichten Forschungsergebnisse:

- 1) Es sollte betrachtet werden, inwiefern sich der Spritzgussprozess auf die Eigenschaften des Formgedächtnismaterials auswirkt. Dazu wurde simuliert, inwiefern die Temperatur der Kunststoffschmelze sich auf die Eigenschaften des Formgedächtnisdrahtes auswirkt und betrachtet, wie weit die Wärme der Schmelzfront den Formgedächtnisdraht umwandelt.
- 2) Es wurde der Spritzgussprozess verschiedener Kunststoffe (ABS, PA11, PA66GF30, PP, PVC) simuliert und anhand dessen ein geeigneter Kunststoff (PP) für das Vorhaben gefunden.
- 3) Es wurden verschiedene Ausführungen passiver Verbindungselemente für FG-Drahtenden untersucht.

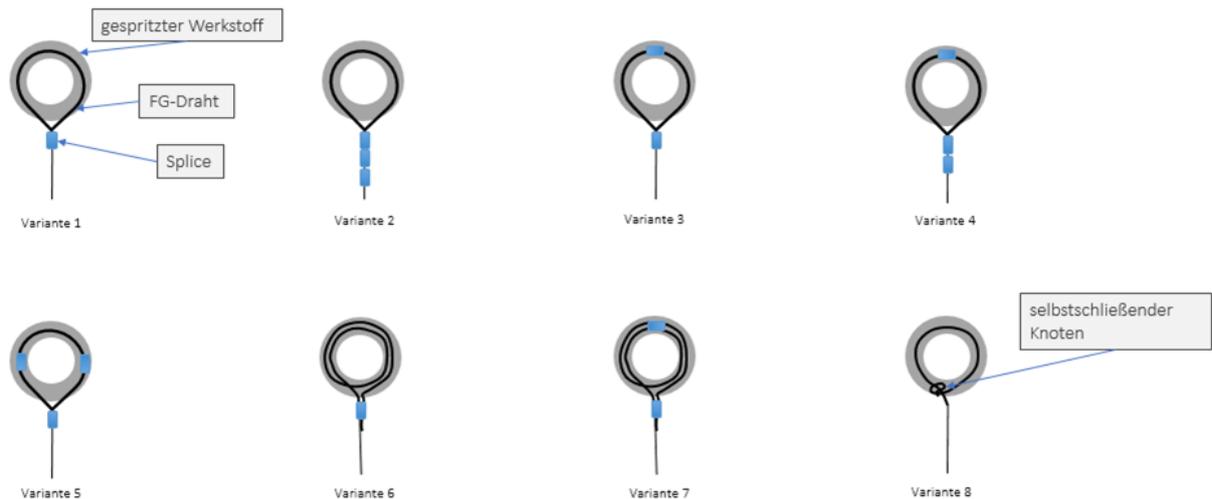


Abbildung 3: Verschiedene Varianten der Anordnung der Splices

4) Anhand der VDI-Richtlinie 2221 wurde der automatisierte Spritzgussprozess in verschiedene Subprozesse unterteilt. Dazu wurde eine Spritzgussform konstruiert, aufgebaut und im Anschluss daran ein Subsystem entwickelt, welches das Formgedächtniselement vor dem Spritzgussprozess mit einem Splice versieht, um den Auszugswiderstand des eingespritzten FG-Drahtes zu erhöhen. Durch weitere Subsysteme, wie eine Förder-, eine Abtrenn- und eine Steuereinheit wurde eine automatisierte Produktionsstraße für einen Formgedächtnisaktor im Polymerverbund aufgebaut.

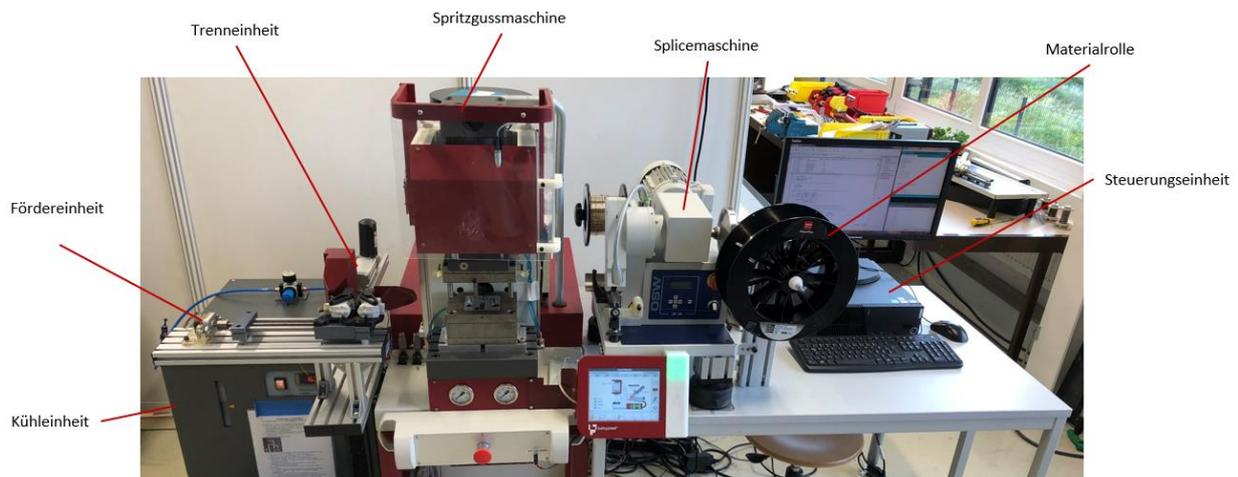


Abbildung 4: Aufbau der Prozesskette

5) Die gewonnen Erkenntnisse wurden mit Akteuren aus verschiedenen Anforderungsszenarien validiert und in Zusammenarbeit mit dem projektbegleitenden Ausschuss mehrere Muster aufgebaut.

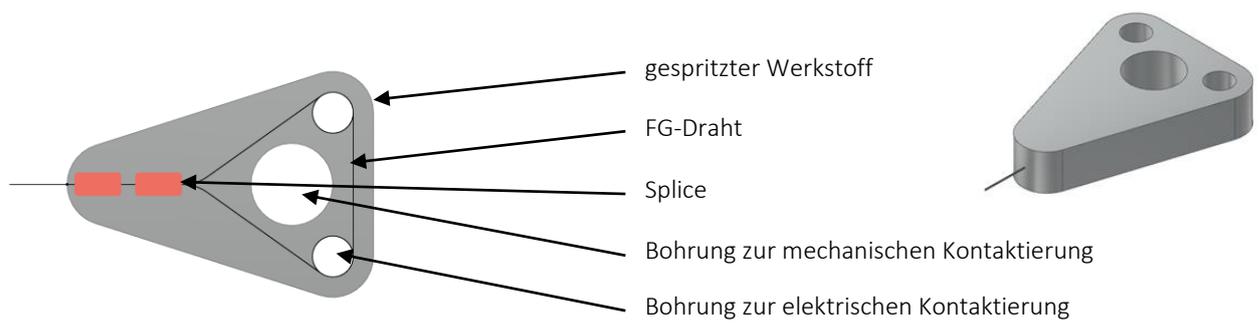


Abbildung 5: Endkontaktierung mit Bohrung zur elektrischer Kontaktierung



Abbildung 6: Oben: Versuchsaufbau des Demonstrators (eingespritzter FG-Draht dient als Sensor); Rechts: Beispielmessung einer Überbelastung der Schlauchtülle

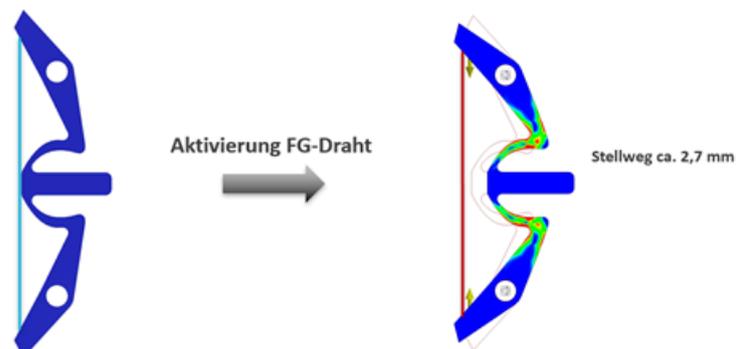


Abbildung 7: Funktionsweise des CRANE-Aktors, dessen Polymerteil, gleichzeitig als mechanische Anbindung, Übersetzungsverhältnis und Rückstellung des FG-Drahtes dient

6) Es wurde eine beispielhafte Kostenaufstellung erstellt, um den an polymerintegrierten Formgedächtnisaktoren interessierten Unternehmen einen Einstieg in die Kostenalkulation der Produktion solcher Bauteile zu geben.

7) Abschließend wurde ein Konstruktionsleitfaden anhand eines im Vorhaben beispielhaft entwickelten Aktors erstellt, welcher die komplette Entwicklung des Produktionsprozesses darstellt.

Zusammenfassung

Durch einen besonders hohen Entwicklungsaufwand haben es Unternehmen besonders schwer in die Entwicklung von Formgedächtnisaktoren einzusteigen. Daher ist die Formgedächtnistechnik im Bereich der Low-Cost Aktorik trotz vielfacher Vorteile nur selten vertreten, obwohl diese Antriebsart bis zu 90 % des Gewichtes gegenüber elektromotorischen, pneumatischen und elektromagnetischen Antriebsprinzipien einsparen kann. Weitere Vorteile dieser Materialien liegen in der antriebsstarken, geräuschfreien und in der Elektromagnetfeld-unbelasteten Aktorkrafterzeugung. Der Trend der letzten Jahre, in denen sich Formgedächtnisaktoren beispielsweise in der Automobiltechnik immer weiter etabliert haben, zeigt, dass bei Unternehmen trotz der oben genannten Schwierigkeiten Interesse besteht diese Technik aufgrund ihrer Vorteile einzusetzen.

Aufgrund von Preisoptimierungen werden feinmotorische Antriebe seit den 80er Jahren zunehmend nicht mehr in Deutschland, sondern in asiatischen Ländern hergestellt. Erst durch einen automatisierten Spritzgussprozess ist es möglich, solche Antriebe wieder preisgünstig in Deutschland herstellen zu können. Die Ergebnisse dieses Vorhabens sollten interessierten Unternehmen und insbesondere KMU den Einstieg in die spritzgussintegrierte Herstellung von Formgedächtnisaktoren und -sensoren vereinfachen.

Das Projekt „Automatisierte Systemintegration von Formgedächtnisaktoren im Spritzgussprozess“ fokussierte Formgedächtnisaktoren in Kunststoffkomponenten zur Realisierung von einfachen, auf Kunststoffträgern integrierten Antrieben für branchenübergreifende Applikationen. Kern des Projektes war die Entwicklung eines automatisierten Produktionsprozesses für diese Technologie, bei der vor allem das thermische Zusammenspiel zwischen Teilprozessen und Halbzeugen beachtet werden muss. Als Resultat wurden nicht nur Konstruktionsparameter für die Prozessautomation herausgestellt, sondern auch konstruktive Gestaltungsempfehlungen für passende Spritzgusswerkzeuge und für die fokussierten polymerintegrierten Formgedächtnisaktoren.

Ein besonderer Dank gilt allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die gute Zusammenarbeit und für die Unterstützung bei der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Eine Langfassung der Forschungsarbeiten kann in Form eines Schlussberichtes bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, www.fgw.de, angefordert werden.

Weitere Informationen erhalten Sie bei Herrn M. Sc. Yannic Zwinscher unter 02191 5921-153.

Literatur:

[1] Czechowicz, Alexander (2012): Adaptive und adaptronische Optimierungen von Formgedächtnisaktorsystemen für Anwendungen im Automobil. Zugl.: Bochum, Univ., Diss., 2012. Aachen: Shaker (Schriftenreihe des Lehrstuhls für Produktionssysteme, Ruhr-Universität Bochum, 2012,8).

[2] Langbein, Sven; Czechowicz, Alexander (2013): Konstruktionspraxis Formgedächtnistechnik. Potentiale - Auslegung - Beispiele. Wiesbaden, s.l.: Springer Fachmedien Wiesbaden (SpringerLink). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8348-2343-4>.

[3] Hermes V. (2012): Brachliegendes Marktpotential. In: Absatzwirtschaft. Online verfügbar unter http://www.fgl-netzwerk.de/fileadmin/Redakteure/presse/Formgedaechtnistechnologie_-_Brachliegendes_Marktpotenzial_asw_8-2012.pdf.